

UKD 622.271: 556.3: 622.271-001.18

Zagospodarowanie poeksploatacyjnych wyrobisk górniczych w złożach kruszywa naturalnego

Management of post-exploitation mine workings in deposits of natural aggregate



Dr inż. Andrzej Haladus^{)}*



Dr inż. Ryszard Kulma^{)}*



*Mgr inż. Justyna Burchard-Piekutowska^{**)}*



*Dr hab. Przemysław Bukowski
prof. GIG^{***)}*

Treść: W artykule przedstawiono zagadnienie zagospodarowania zlikwidowanej odkrywki kruszywa naturalnego i utrzymania w niej właściwego reżimu wodnego. Specyficzna sytuacja wyrobiska poeksploatacyjnego wynikała z zalegania złoża na nieprzepuszczalnym podłożu, mocno nachylonym w kierunku zgodnym z ruchem strumienia wód podziemnych. Dotrzymanie założeń projektowych likwidacji wymagało podzielenia zbiornika na mniejsze części, tworzące układ kaskadowy. Z badań wykonanych na modelu hydrogeologicznym obszaru złoża wynika, że samoczynne napełnienie zbiorników i utrzymanie w nich zakładanego poziomu wody wymaga uszczelnienia jednej ze skarp grobli ziemnych.

Abstract: This paper presents the issue of management of liquidated natural aggregate open pit and maintenance of proper water regime in this area. The specific situation of the post-exploitation mine workings resulted from the deposit occurrence on impermeable bedrock, which is steep sloped in the direction of the groundwater flow. Keeping the assumptions of liquidation required the division of reservoir into two smaller parts, forming a cascade system. The research carried out on the hydrogeological model of the deposit area shows that automatic filling up of the reservoirs and maintaining the assumed water level, require the sealing of one of the scarp of the earthen dike.

Słowa kluczowe:

zbiorniki poeksploatacyjne, prognozy hydrogeologiczne

Key words:

post-exploitation reservoirs, hydrogeological forecasts

^{*)} AGH w Krakowie, ^{**)} Przedsiębiorstwo Usługowo-Projektowe SIGMA BP Sp. z o. o., Tarnobrzeg, ^{***)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

1. Wprowadzenie

Budowa dróg i autostrad wymaga zabezpieczenia materiałowego, w którym ważną rolę spełniają kruszywa naturalne. Względy ekonomiczne decydują o tym, że najczęściej korzysta się ze złóż piasków i żwirów występujących w pobliżu prowadzonej inwestycji. Po zakończeniu wydobywania wyrobiska poeksploatacyjne są likwidowane między innymi w kierunku wodnym, z przeznaczeniem na obiekty o charakterze rekreacyjnym lub stawy do hodowli ryb.

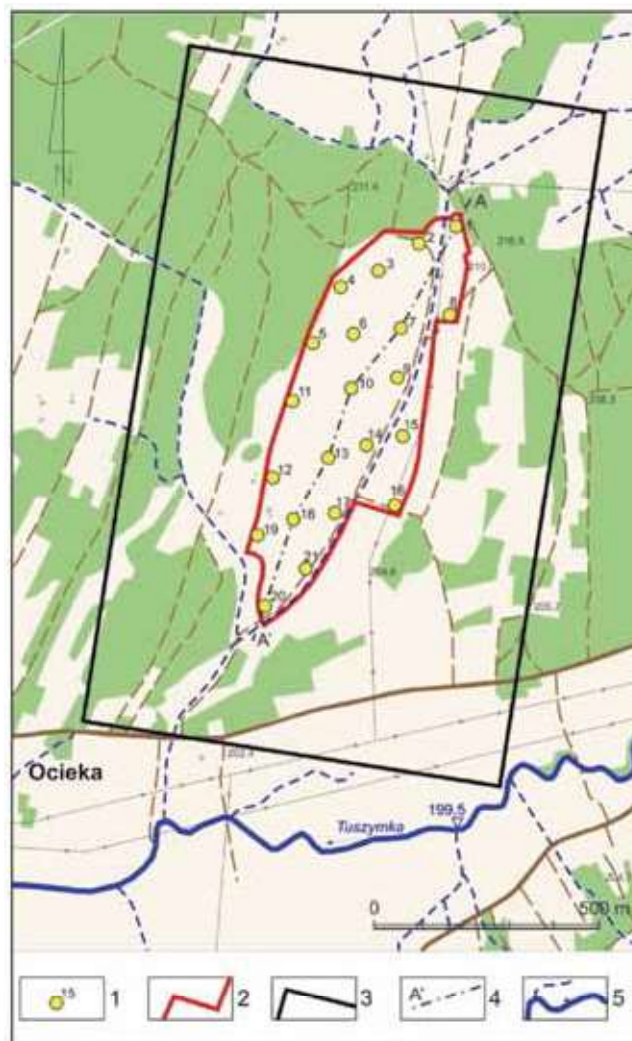
Problem z zagospodarowaniem i utrzymaniem właściwego reżimu wodnego w obrębie likwidowanych odkrywek pojawia się w sytuacji, gdy złoża kruszywa naturalnego zalegały na nieprzepuszczalnym podłożu, nachylonym w kierunku zgodnym z ruchem strumienia wód podziemnych. Konieczne jest wówczas podzielenie zbiornika na mniejsze jego części tworzące układ kaskadowy. Prognozę zmian warunków przepływu wody pomiędzy sąsiednimi zbiornikami, oddzielnymi od siebie groblami ziemnymi, oraz w ich otoczeniu można przedstawić w oparciu o badania wykonane na modelu hydrogeologicznym obszaru złoża. Przykładem jest rozwiązanie zastosowane dla zlikwidowanego w 2014 roku złoża kruszywa naturalnego „Ocieka” [1, 3] występującego w miejscowości o tej samej nazwie na terenie gminy Ostrów w powiecie ropczycko-sędziszowskim, województwie podkarpackim (rys. 1). Złoże, którego powierzchnia wynosi około 22,6 ha, położone jest w odległości około 2-3 kilometrów na północ od wybudowanej autostrady A-4.

2. Charakterystyka warunków występowania złoża

Obszar występowania złoża przedstawia powierzchnię nachyloną w kierunku południowo-zachodnim z wysokościami zmieniającymi się od 203,0 do 209,7 m n.p.m. Nadkład złoża stanowiła gleba piaszczysta o miąższości 0,1–0,5 m. Utwory złożowe reprezentowane były w przewodzie przez piaski średnio- i drobnoziarniste, lokalnie z domieszką żwirów, przechodzące ku spągowi w piaski pylaste. Udokumentowana miąższość złoża wynosiła średnio 6,9 m i zmieniała się od 3,7 do 11,8 m (rys. 2). Podłoże najczęściej stanowiła warstwa gliny lub pyłu laminowanego piaskiem, występująca na stropie ilów neogeńskich. Strop ilów w obrębie złoża występował na głębokości 4,5–8,0 m w części północnej i ponad 12,0 m w części południowej złoża. Utwory piaszczysto-żwirowe tworzące warstwę wodonośną, cechują się współczynnikiem filtracji wynoszącym około 9,0 m/d.

Zwierciadło wód podziemnych w okresie poprzedzającym eksploatację piasków miało charakter swobodny i zalegało na głębokości od 0,2 do 1,8 m p.p.t. Zasilanie warstwy wodonośnej odbywało się przez infiltrację opadów atmosferycznych, a drenaż i odprowadzenie wody zapewniał rów melioracyjny przepływający przez wschodnią część złoża. Ostatecznie wody te wpadały do rzeki Tuszymki przepływającej równoleżnikowo w odległości około 450 m od południowego skraju złoża. Na czas eksploatacji złoża koryto rowu melioracyjnego zostało przełożone poza wschodnią granicę obszaru wydobywania, a podstawą lokalnego drenażu wód podziemnych stały się odkrywkowe wyrobiska górnicze z utworzonymi w nich zbiornikami wodnymi.

Pole hydrodynamiczne w rejonie złoża „Ocieka” przedstawia sobą równoległy strumień filtracji przepływający w kierunku południowym, lokalnie modyfikowany przez zbiorniki wodne w wyrobiskach eksploatacyjnych. Zwierciadło wód podziemnych kształtuje się w przedziale wysokości od około 198 m n.p.m. w południowej części obszaru (w korycie



Rys. 1. Lokalizacja złoża kruszywa naturalnego „Ocieka” k. Sędziszowa Małopolskiego

1 – badawczy otwór złożowy, 2 – granica złoża „Ocieka”, 3 – granica modelu hydrogeologicznego, 4 – linia przekroju hydrogeologicznego, 5 – ciek powierzchniowy wraz z dopływającym rowem melioracyjnym

Fig. 1. Location of natural aggregates deposits “Ocieka” located near Sędziszów Małopolski

1 – research borehole, 2 – boundary of “Ocieka” deposit, 3 – boundary of hydrogeological model, 4 – line of hydrogeological cross section, 5 – surface stream with drainage ditch

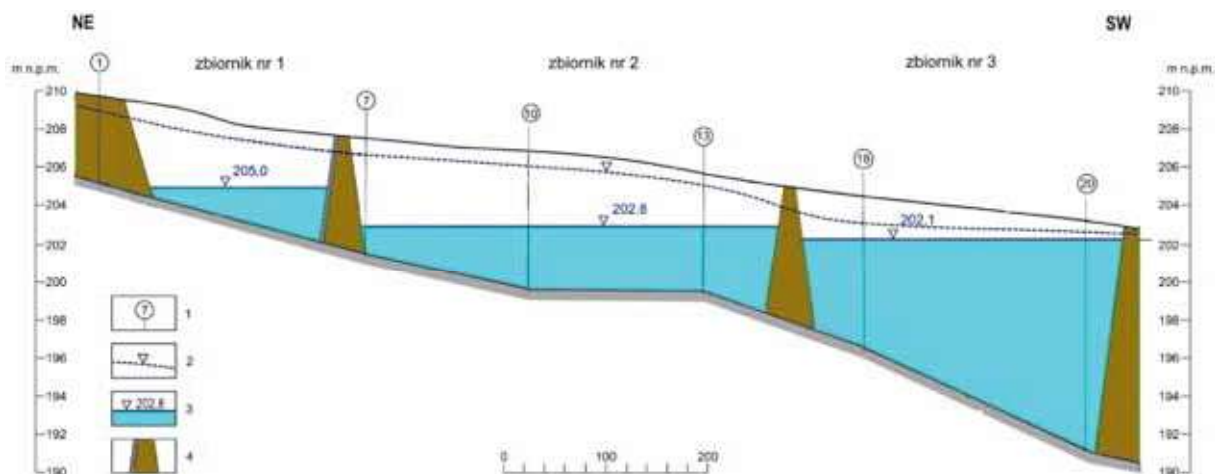
rzecznym Tuszymki) do około do 210 m n.p.m. poza północną granicą złoża [4].

3. Projektowana eksploatacja i zagospodarowanie złoża

Eksploatacja miała objąć obszar o powierzchni około 18 ha, co stanowiło 80% powierzchni udokumentowanej złoża. Pozostałe 20% obszaru złoża zajmowały pasy ochronne ustanowione dla: linii energetycznej, rowu melioracyjnego i gruntów niebędących własnością inwestora.

Eksploatacja złoża, z uwagi na płytkie występowanie zwierciadła wód podziemnych, miała być prowadzona dwoma etapami:

- do głębokości około 4 m p.p.t. z użyciem koparki umieszczonej na stropie złoża,



Rys. 2. Przekrój AA' przez złożę kruszywa naturalnego „Ocieka”

1 – otwory złożowe, 2 – zwierciadło wody w warunkach naturalnych, 3 – położenie lustra wody w zbiornikach poeksploatacyjnych, 4 – przegroda przeciwiłtracyjna na skarpie grobli ziemnej

Fig. 2. Cross section AA' through natural aggregates deposit “Ocieka”

1 – deposit boreholes, 2 – water level in natural conditions, 3 – water level in post-exploitation reservoirs, 4 – anti-filtration barrier on the scarp of earthen dike

– od głębokości około 4,0 m p.p.t do spągu złoża z wykorzystaniem refulera.

Przy planowaniu eksploatacji złoża „Ocieka” brano pod uwagę duże nachylenie terenu w kierunku południowym sugerujące zasadność utworzenia kaskadowych basenów przedzielonych groblami z przepustami. Rozwiązanie takie miało umożliwić regulację poziomu wody w basenach i wpływać na stan wód podziemnych w ich otoczeniu. Prognozę tych zmian przedstawiono w oparciu o wyniki badań na modelu hydrogeologicznym obszaru złoża i terenów przyległych.

4. Model hydrogeologiczny złoża

Numeryczny model warunków filtracji [2] opracowany został w oparciu o informacje uzyskane z dwudziestu jeden otworów badawczych dokumentujących złożę [5] oraz dostępnych opracowań kartograficznych. Obszar modelu obejmuje powierzchnię około 1,43 km² podzieloną w większości na kwadratowe bloki obliczeniowe o boku $\Delta x = 20$ m. Poprawne odwzorowanie na modelu dwóch grobli ziemnych, rozdzielających planowane do wykonania zbiorniki wodne, wymagało wprowadzenia lokalnych zagęszczeń siatki dyskretyzacyjnej, w obrębie których bloki obliczeniowe są prostokątami o wymiarach 10×20 m. Ostatecznie, model warunków hydrogeologicznych złoża „Ocieka” utworzyło 3948 bloków obliczeniowych uszeregowanych w 84 wierszach i 47 kolumnach.

W przestrzeni filtracyjnej wydzielono jedną warstwę modelu obejmującą utwory piaszczysto-żwirowe występujące od powierzchni terenu do nieprzepuszczalnego podłoża. Uwzględnione zostało zmienne ukształtowanie spągu złoża, które w obrębie modelowanego obszaru wykazuje różnicę wysokości położenia przekraczającą 25 m. Serię wodonośną występującą poniżej zwierciadła wód podziemnych charakteryzował współczynnik filtracji, który po weryfikacji modelu wynosił od 5 do 13 m/d.

Linia brzegowa rzeki Tuszynka odwzorowana została na modelu warunkami III rodzaju $Q = f(T, \Delta H)$, ze zwierciadłem wody utrzymywanym jako tzw. odsunięta granica. Wysokość zwierciadła wody zawierała się w przedziale od 197,7 m n.p.m. – na zachodnim krańcu rzeki, do 199,4 m n.p.m. – na krańcu wschodnim. Również na pozostałych brzegach mode-

lowanego obszaru filtracji wykorzystano warunek odsuniętej granicy, zapewniając tym samym możliwość swobodnego formowania zwierciadła wód podziemnych pod wpływem zmian położenia w zbiornikach wodnych.

Zasilanie powierzchniowe utworów wodonośnych (warunki brzegowe II rodzaju $Q = \text{const}$) stanowiły opady atmosferyczne o wysokości $O = 600$ mm/r, przenikające do warstwy piasków przy wskaźniku infiltracji $\eta = 0,1-0,2$.

Obliczenia symulacyjne na modelu hydrogeologicznym obejmowały dwa scenariusze badań, polegające na:

1. Odtworzeniu obecnych warunków przepływu wód podziemnych, kiedy złożę piasków „Ocieka” było w trakcie eksploatacji.
2. Przedstawieniu prognozy położenia zwierciadła wód podziemnych i spodziewanych skutków w środowisku wodno-gruntowym, w warunkach, jakie zaistniały po zakończeniu eksploatacji złoża kruszywa naturalnego. Utworzone trzy zbiorniki wodne z uformowanymi skarpami brzegowymi samoczynnie zostały napełnione wodą aż do osiągnięcia stanu równowagi przepływów (w warunkach braku izolacji grobli ziemnych).

5. Wyniki badań modelowych

Projekt rekultywacji obszaru złoża „Ocieka” po zakończonej eksploatacji kruszywa naturalnego przewidywał uformowanie skarp i utworzenie trzech zbiorników wodnych oddzielonych groblami ziemnymi. Problemem okazało się utrzymanie minimalnego poziomu napełnienia zbiorników, przy którym będą one mogły spełniać swoją funkcję, np. hodowli ryb. Z tego względu badania modelowe zaplanowano i zrealizowano w czterech wariantach obliczeniowych różniących się wielkością powierzchniowego zasilania utworów wodonośnych oraz uwzględniających możliwość wykonania izolacji południowej skarpy w najwyższym położonym zbiorniku nr 1 (zbiornik północny).

W badaniach modelowych przyjęto, że w dwóch symulacjach (warianty 1 i 3) infiltracja opadów atmosferycznych wyniesie 20% ($\eta = 0,2$), natomiast w pozostałych dwóch (warianty 2 i 4) będą one zmniejszone o połowę, tj. wskaźnik infiltracji opadów będzie wynosił $\eta = 0,1$ (10% wysokości

opadów). Wprowadzenie na model przegrody przeciwfiltracyjnej (w wariantach 3 i 4) wymagało wskazania jej lokalizacji w obrębie bloku obliczeniowego oraz podanie parametrów hydrogeologicznych charakteryzujących jej przepuszczalność. Przyjęto, że lokalną izolację może stanowić uformowana na stoku grobli warstwa iłó w o miąższości $m^o = 0,2$ m i współczynnika filtracji $k^o = 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Wykonane obliczenia symulacyjne wymagały każdorazowo ustalenia wysokości zwierciadła wody w zbiornikach nr 1 – północnym, nr 2 – środkowym i nr 3 – południowym, przy której występuje równowaga składników bilansu wodnego. W każdej rozpatrywanej sytuacji (warianty 1–4) model obszaru filtracji, a zatem i znajdujące się w jego obrębie zbiorniki wodne, zasilane były wodami podziemnymi napływającymi z kierunku północnego ($Q_N = 147\text{--}161$ m³/d), zachodniego ($Q_W = 214\text{--}256$ m³/d) i wschodniego ($Q_E = 291\text{--}324$ m³/d). Odpływ z natężeniem $Q_S = 869\text{--}983$ m³/d odbywał się w kierunku południowym.

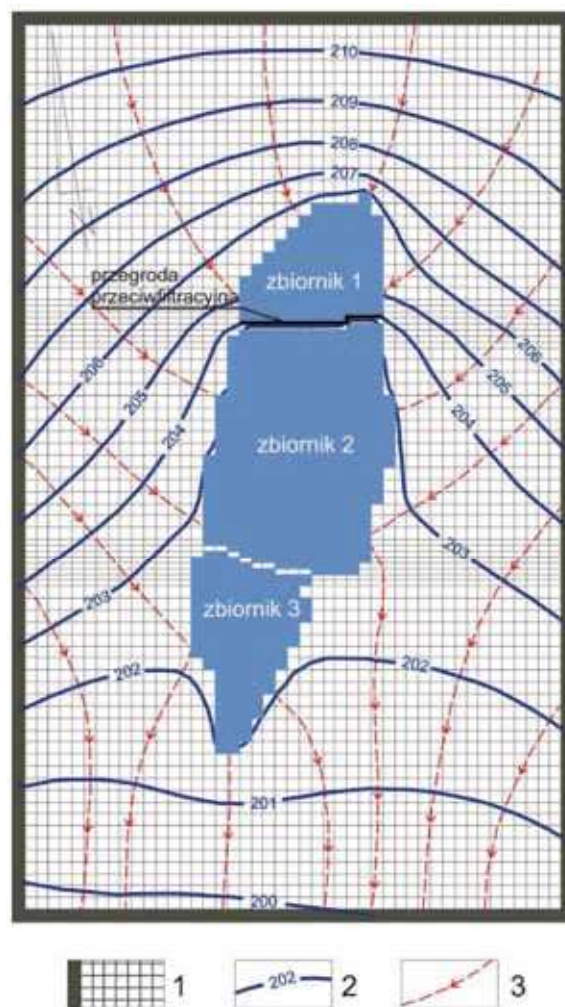
Wyniki obliczeń symulacyjnych (tab. 1) wskazują, że w warunkach braku izolacji grobli w zbiorniku nr 1 utrzymanie wysokości jego napełnienia wynoszącej około 204,0 m n.p.m. (niższej o 1,0 m od projektowanej) jest możliwe tylko w przypadku średniego bądź wysokiego zasilania warstwy wodonośnej przez opady atmosferyczne. Już przy tym poziomie napełnienia zbiornika jego część północno-wschodnia może ulegać osuszeniu. Wykonanie izolacji południowej skarpy zbiornika stwarza możliwość utrzymania zwierciadła wody co najmniej na wysokości 205,0 m n.p.m., wymaganej założeniami projektowymi. W takiej sytuacji, przez wykonane w groblach przepusty możliwa będzie regulacja stanów wody w niżej położonych zbiornikach nr 2 (środkowym) i nr 3 (południowym).

Układ pola hydrodynamicznego na obszarze złoża piasków „Ocieka”, wyznaczony przebiegiem hydroizohips i linii prądu, wskazuje w większości na drenujący charakter zbiorników wodnych, niezależnie od rozpatrywanego wariantu obliczeń modelowych (rys. 3) Zasilający wody podziemne będzie tylko południowy fragment zbiornika nr 3. Należy jednak zauważyć, że intensywny przepływ strumienia filtracji ma miejsce głównie pomiędzy zbiornikami nr 1 i nr 2 oraz zbiornikami nr 2 i nr 3, na co wskazują wartości natężenia przepływów obserwowane na modelu hydrogeologicznym. Wprowadzenie ekranu przeciwfiltracyjnego na południowym zboczu zbiornika nr 1 nie spowoduje istotnych zmian tego pola, a różnice

Tablica 1. Prognozowane położenie zwierciadła wody w zbiornikach poeksploatacyjnych na złożu „Ocieka”

Table 1. Forecasts of water table level in post-exploitation reservoirs in “Ocieka” deposit

Warunki obliczeń symulacyjnych	Wysokość zwierciadła wody, m n.p.m.		
	zbiornik nr 1	zbiornik nr 2	zbiornik nr 3
Wariant 1: O = 600 mm/r, $\eta = 0,2$ zbiorniki wodne bez uszczelnienia	204,05	203,22	202,46
Wariant 2: O = 600 mm/r, $\eta = 0,1$ zbiorniki wodne bez uszczelnienia	203,74	202,92	202,17
Wariant 3: O = 600 mm/r, $\eta = 0,2$ uszczelniona południowa skarpa zbiornika nr 1	205,00	203,18	202,43
Wariant 4: O = 600 mm/r, $\eta = 0,1$ uszczelniona południowa skarpa zbiornika nr 1	205,00	202,83	202,10



Rys. 3. Prognozowany układ zwierciadła wód podziemnych na obszarze złoża „Ocieka” w warunkach zakończonej eksploatacji piasków i utworzeniu zbiorników wodnych, z których jeden będzie izolowany ekranem przeciwfiltracyjnym (wariant 4)

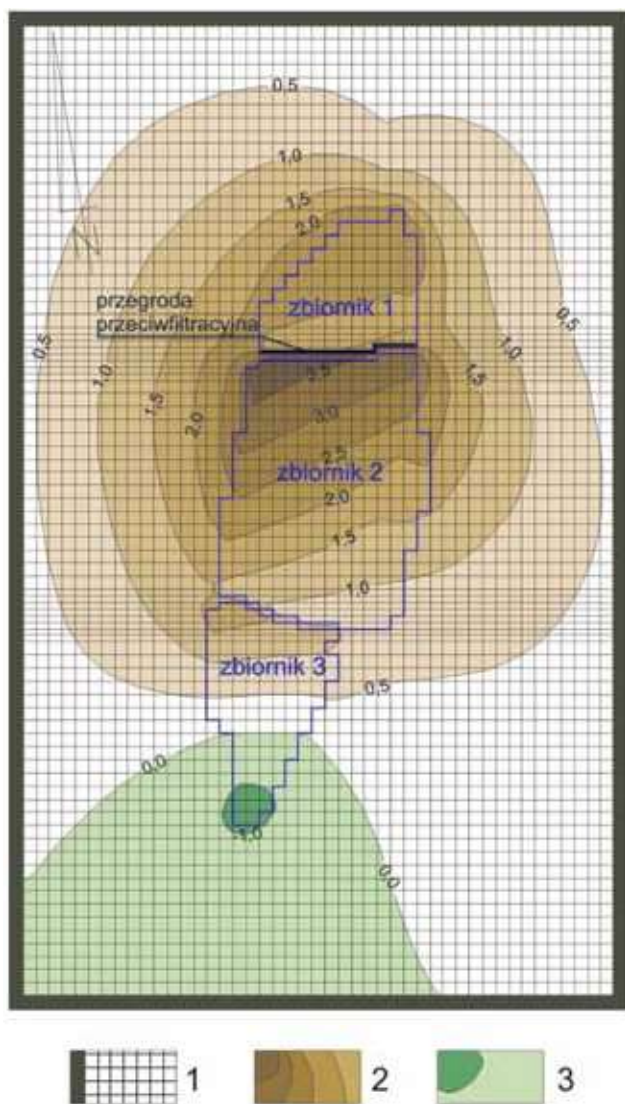
1 – siatka dyskretyzacyjna modelu hydrogeologicznego z blokami obliczeniowymi, w których zrealizowano odsunięte granice obszaru filtracji, 2 – hydroizohipsy w m n.p.m., 3 – linie prądu strumienia filtracji

Fig. 3. The predicted groundwater table in the area of the deposit “Ocieka” in conditions of completed sand exploitation and after creation of water reservoirs, one of which will be isolated by anti-filtration barrier (variant 4)

1 – grid of hydrogeological model with computational blocks, in which the General Head Boundary option was declared, 2 – water table level [m a.s.l.], 3 – lines of filtration stream

uwidocznia się jedynie jako zagęszczenie hydroizohips w obrębie grobli rozdzielającej zbiorniki nr 1 i nr 2).

Ważnym elementem prognozy zmian stosunków wodnych w otoczeniu trzech zbiorników było wyznaczenie obszaru ich oddziaływania na środowisko wodno-gruntowe (rys. 4). Przewidywane obniżenie zwierciadła wód podziemnych (depresja) lub wzrost wysokości jego położenia (impresja) zostały określone w stosunku do odtworzonych na modelu pierwotnych warunków przepływu strumienia wód podziemnych, istniejących przed rozpoczęciem eksploatacji złoża piasków.



Rys. 4. Mapa różnicowa stanów wód podziemnych z okresu przed i po zakończeniu eksploatacji złoża piasków „Ocieka” – wariant 4

1 – siatka dyskretyzacyjna modelu hydrogeologicznego z blokami obliczeniowymi, w których zrealizowano odsunięte granice obszaru filtracji, 2 – obszar obniżenia zwierciadła wody o wartościach w m, określonych na izolinach, 3 – obszar impresji zwierciadła wody

Fig. 4. Differential map of groundwater state before and after the end of exploitation of sand deposit “Ocieka” – variant 4

1 – grid of hydrogeological model with computational blocks, in which the General Head Boundary option was declared, 2 – area of lowered water table, values defined on the contour lines [m], 3 – area of water table impression

Wielkości strefy oddziaływania zbiorników uzależnione będą od warunków zasilania warstwy wodonośnej przez opady atmosferyczne. Maksymalny zasięg lejki depresji, wyznaczony obniżeniem zwierciadła wody wynoszącym $s = 0,5$ m (połowa rocznej amplitudy wahań) uwidacznia się przy niskim wskaźniku infiltracji opadów (warianty 2 i 4) i sięgnie na odległość od brzegów zbiornika wynoszącą około 200 m w kierunku północnym, 300 m w kierunku zachodnim i 250 m w kierunku wschodnim. Na kierunku południowym, gdzie będzie miał miejsce odpływ strumienia wód podziem-

nych pojawi się strefa wzrostu wysokości zwierciadła wody, w obrębie której maksymalna wartość impresji może wynieść od $s_i = -0,79$ m (wariant 4, rys. 4) do $s_i = -1,16$ m (wariant 1).

6. Zakończenie eksploatacji złoża i prace rekultywacyjne

Eksploatację prowadzono systemem odkrywkowym, kópkami ustawionymi na stropie złoża. Głębokość eksploatacji wynosiła od 0,9 do 5,0 m. W spągowej części złoża napotkano na piasek drobnoziarnisty z dużą domieszką materiału gliniastego. Wykonane badania laboratoryjne wykazały, że materiał ten przed wbudowaniem w pas autostrady wymagałby ulepszenia spoiwem (cementem, wapnem, aktywnymi popiołami, itp.). Brak zapotrzebowania na tego rodzaju kruszywo, zła jakość i uwarunkowania ekonomiczne spowodowały zakończenie eksploatacji złoża w roku 2013.

W miejscu wybranego złoża powstały zbiorniki wodne o sumarycznej powierzchni około 15 ha i głębokości od 3,0 do 6,5 m.

Prace rekultywacyjne zostały wykonane zgodnie z projektem technicznym rekultywacji wyrobiska „Ocieka” [6], a urządzenia wodne służące do utrzymania i regulacji poziomu wody w zbiornikach na podstawie udzielonego pozwolenia wodnoprawnego.

Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych przebiegała w dwóch fazach. Początkowo, w fazie technicznej zostały ukształtowane skarpy i groble, wykonano urządzenia wodne służące do regulacji poziomu wody w zbiornikach oraz przeprowadzono regulację stosunków wodnych w obrębie zbiorników. W późniejszej fazie biologicznej miały miejsce niezbędne prace agrotechniczne, których celem było ukształtowanie właściwości chemicznych, fizykochemicznych, fizycznych i biologicznych wierzchniej warstwy gruntu do poziomu gleb dobrej jakości. Starosta Ropczycko-Sędziszowski uznał rekultywację gruntów położonych w Ociece za zakończoną.

7. Podsumowanie

Ocenę skutków środowiskowych po zakończeniu eksploatacji piasków ze złoża „Ocieka” i utworzeniu na tym obszarze zbiorników wodnych przedstawiono w oparciu o wykonane badania na modelu hydrogeologicznym. Wyniki tych badań wskazywały, że zachowany zostanie dotychczasowy, główny kierunek spływu wód podziemnych, ale w najbliższym otoczeniu zbiorników wodnych warunki przepływu ulegną istotnym zmianom. Zbiorniki wodne w większości staną się lokalną podstawą drenażu wód podziemnych, a warstwę wodonośną będzie zasiliał jedynie południowy fragment zbiornika nr 3. Intensywny przepływ strumienia filtracji będzie się odbywał przez nieuszczelnione groble między zbiornikami.

Samoczynne napełnienie zbiorników i utrzymanie zwierciadła wody na zakładanej w projekcie wysokości 205,0 m n.p.m. w zbiorniku nr 1 mogło być wątpliwe, zwłaszcza w warunkach niskiego zasilania utworów wodonośnych przez opady atmosferyczne. Obliczenia symulacyjne wykazały, że w warunkach równowagi bilansowej zbiorników wodnych maksymalne napełnienie zbiornika nr 1 może dochodzić do około 204,0 m n.p.m.

W tej sytuacji korzystniejszym wydawało się rozwiązanie, w którym północna skarpa grobli rozdzielającej zbiornik nr 1 od zbiornika nr 2 zostanie uszczelniona warstwą ilów, a wykonany przepust wodny umożliwi sterowanie napełnieniem niżej położonych zbiorników w zależności od potrzeb. Stan równowagi bilansowej wód podziemnych przy niskim zasi-

laniu opadami atmosferycznymi utrzymuje się, gdy poziomy wody wynoszą: 205,00 m n.p.m. – w zbiorniku nr 1, 202,8 m n.p.m. – w zbiorniku nr 2 i 202,1 m n.p.m. – w zbiorniku nr 3.

Wyniki przeprowadzonej prognozy hydrogeologicznej potwierdziły, że eksploatacja złoża kruszywa naturalnego „Ocieka” i utworzenie zbiorników wodnych w wyrobiskach odkrywkowych spowoduje zmiany w środowisku wodno-gruntowym. Przewidywany zasięg tych zmian, przejawiających się zwłaszcza jako strefa obniżonego zwierciadła wody (depresji), może być obserwowany maksymalnie do odległości około 250–300 m od brzegu zbiorników. Jedynie w kierunku południowym uwidoczni się lokalna strefa wzrostu wysokości zwierciadła wód podziemnych ponad poziom istniejący przed rozpoczęciem wydobywania.

Po zakończeniu eksploatacji złoża skarpy zbiorników oraz przedzielających je grobli zostały odpowiednio ukształtowane i zabezpieczone przed rozmywaniem. W ramach prac rekultywacyjnych, wykonanych zgodnie z zaleceniami wynikającymi z badań na modelu hydrogeologicznym, północna skarpa grobli rozdzielającej zbiornik nr 1 od zbiornika nr 2 została uszczelniona warstwą ilów. Wykonano również budowle upustowe łączące poszczególne zbiorniki, których zadaniem jest utrzymywanie zwierciadła wody w zbiornikach na odpowiednim poziomie.

Literatura

1. *Jurkiewicz H., Woliński J.*: Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000, arkusz Mielec. PIG, Warszawa 1979.
2. *Kulma R., Zdechlik R.*: Modelowanie procesów filtracji. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2009.
3. *Makuch Z., Marszałek S.*: Mapa geologiczno-gospodarcza Polski w skali 1:50 000, arkusz Ropczyce (980). PIG, Warszawa 2002.
4. Praca zbiorowa: Atlas hydrologiczny Polski, tom 1. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1987.
5. *Tabor M., Burchard T., Kirejczyk J., Pantula Z., Burchard J.*: Dokumentacja geologiczna złoża kruszywa naturalnego „Ocieka” w kategorii C1. PUP „SIGMA BP” Sp. z o.o., Tarnobrzeg 2011.
6. *Pantula Z., Mróz M., Kirejczyk J., Burchard L.*: Techniczny projekt rekultywacji wyrobiska „Ocieka”. PUP „SIGMA BP” Sp. z o.o., Tarnobrzeg 2014.

WARTO WIEDZIEĆ

Jaki jest - wg danych za III kw. 2015 roku

koszt wytwarzania jednej megawatogodziny MWh energii elektrycznej z różnych nośników.

ZAPAMIĘTAJMY

węgiel brunatny 130,40 zł (100%)
woda 164,20 zł (126%)
węgiel kamienny 172,30 zł (133%)
wiatr 210,90 zł (162%)
gaz 241,20 zł (185%)
biomasa 367,90 (283%)

wobec niedoboru zasobów wody – węgiel jest naszym najtańszym źródłem energii,
a górnictwo węgla brunatnego i kamiennego
to strategiczne sektory całej gospodarki na wiele dziesięcioleci

Gospodarstwo domowe zużywa około 1000 kWh/osobę (= 0,001 MWh)